

自然共生工法展示施設における 河道の動態と植生護岸の機能

CHARACTERISTICS OF BED PROFILE AND FUNCTIONS OF VEGITATIVE COVERED REVETMENT ALONG RIVER ENHANCEMENT WORKS

和田 清¹・小出水規行²・井納英昭³・鈴木正幸⁴・野原 孝⁵

Kiyoshi WADA, Noriyuki KOIZUMI, Hideaki INO, Masayuki SUZUKI and Takashi NOHARA

¹正会員 工博 岐阜工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣郡真正町上真桑)

²正会員 農博 農業工学研究所研究員 農村環境部 生態工学研究室 (〒305-8609 つくば市観音台2-1-6)

³井納建設株式会社 (〒501-1203 岐阜県本巣郡本巣町文殊678-1)

⁴株式会社エスベックミック (〒480-0138 愛知県丹羽郡大口町大御堂1-233-1)

⁵杉山建設株式会社 (〒501-0414 岐阜県本巣郡糸貫町数屋丸井藪1117)

In the restoration and enhancement method, foot-protection works build slightly higher than a low water level in front of an existing revetment have primary roles by allowing dense vegetation to grow on them. And floods of a bank-full scale are expected to actively deposit fine sediment in the vegetation. To materialize this idea of the method, a 200m reach in the lower the Shin-sakai River was chosen for test construction of revetments and foot-protection works. In the first five months after the construction completed in September 2000, the expected processes of vegetation growth and fine sediment deposit on the revetments and foot-protection works were observed, fine sediment deposit of which layers reached as thick. More than forty kinds of plants include three endangered ones were found. In the after a few week, the site experienced an enormous flood lasting two days. Although this impact apparently gave a negative influence on the formative progresses by eroding vegetation and part of the revetments, it was judged that the interrupted processes would have a good chance of starting again in the coming summer.

Key Words : vegetative covered revetment, growth of vegetation, sediment transport, cover

1. はじめに

近年, 自然環境に関する認識の高まりから, 洪水災害の防止とのバランスをはかりながら, 自然な河川環境を創出する技術が求められており, 水生植物群落の護岸機能に着目した成果などが報告されている^{1) 2) 3)}. このような河川の水際部は, 土砂と水と植生の挙動によって, 空間的にも時間的にも変化に富んだ河川固有のハビタットが形成される場として貴重である.

岐阜県では, 「全県水辺ビオトープ化」を図るために, 関係機関が一体となって自然豊かな魅力ある水辺の再生と創出に取り組んでいる. その一環として, 水辺のビオトープを再生および創出する「工法」や「技術」, 「関連製品」の機能や効果を調査研究するための「自然共生工法展示施設」が, 2000年4月木曽川の支流・新境川河口の両岸約200m区間に設置された. 17企業が協議会を組織し, 洪水に対する安全性や植生の回復状況, 生物の

生息環境の復元状況などが継続的に調査されている⁴⁾.

本研究では, この「自然共生工法展示施設(岐阜県)」において現地調査を実施し, 東海豪雨を含めた洪水による河床変動量^{5) 6)}を明らかにするとともに, 洪水による根固め工の屈撓状況, 植生護岸の被覆状況の推移, 魚類の生息量と物理環境の特性量の関係などについて考察したので, その結果を報告する.

2. 現地調査の概要

現地河川は, 河口から約200m上流に位置するカルバートを挟んで, 下流側が「自然共生工法展示施設」, 上流側が蛇籠工を主体とする植生護岸であり, 自然共生研究センターの実験河川へとつながっている. 調査対象は, このカルバートの上流側約50mから河口までの区間である. 「自然共生工法展示施設」には, 両岸に約10m間隔で各企業が施工した護岸が連続して設置されており,

展示施設のやや上流側には魚巣ブロック（約30m区間、固定床）が設置されている。この魚巣ブロックとカルバートの間、魚巣ブロックよりも下流側は移動床（中央粒径35mm程度）である。なお、魚巣ブロックの下流側には、河床低下を防止するための床固め工と帯工が7月に設置されている。ここで、調査対象とした一連の植生護岸群は、ほぼ最下流部の左岸側に位置するポーラスコンクリート、木工・粗朶沈床、チャンパーリベットメント（フトン箆状の植生系護岸材料）の3工区（約30m区間）である。なお、護岸および根固工の天端の高低差は約2.0m、法面勾配は1:1~1:2である。

(1) 地形測量（河床と護岸根固工の変化量）

対象河川の河床変動量を把握するために、2000年5月9日、6月2日、8月7日、9月18日の計4回、自動レベルによる横断測量を行なった。当初、対象区間を魚巣ブロックより下流側の約80m区間に設定していたが、東海豪雨（9月12日）によって魚巣ブロックとカルバートの区間の河床変動が大きく生じたために、測量区間をカルバートまで延長して行なった。また、各工区の小口止め天端の地盤高と水平座標は、トータルステーションによって計測した。さらに、洪水後の護岸根固工におけるポーラスコンクリート、木工・粗朶沈床、チャンパーリベットメントの屈撓性を水準測量によって把握した。

(2) 植生調査（出現種と優占度）

3工区の植生護岸における植物の生育状況を把握するために、護岸法面や根固工、水際に1m×1mのコドラートを設定する調査を3~9月にかけて行なった。植物出現種や成長の程度を把握し、優占度や植被率などを求めた。また、護岸の機能や生態系を修復することを前提に導入植物種の検討を行い、木工・粗朶沈床ではヤナギ、チャンパーリベットメントでは木曽川の礫床河原に生育する在来植物ツルヨシを植栽して使用した。

(3) 護岸の熱環境特性（赤外線カメラ）

「自然共生工法展示施設」では、コンクリートや盛土から植生護岸まで、多様な護岸工法が展示されている。その護岸法面や水際部などの熱環境特性を把握するために、赤外線カメラ（サーモピュアJTG-6300、波長8~13μm）による調査を、植生が繁茂し各工区の温度差が大きい夏季（8月24日）に実施した。なお、気温や水温の時間変化を把握するために、木工・粗朶沈床工区の法面（3ヶ所）とポーラスコンクリート工区の水際部（3ヶ所）に水温データロガーを設置した。

(4) 代表的な工区における魚類生息量調査

対象区間における魚類生息量調査は、自然共生研究センターや17企業で組織する「自然共生型川づくり研究協議会」によって定期的に行なわれている。本研究では、魚類採捕と生息場の調査（水質・水深・流速・河床材料・カバーなど）を同時に行い、瀬と淵、改修区と対照区の特徴を比較しながら、生息場の創造に関与する要素を抽出するための調査（全3ヶ所）を夏季（8月28日）

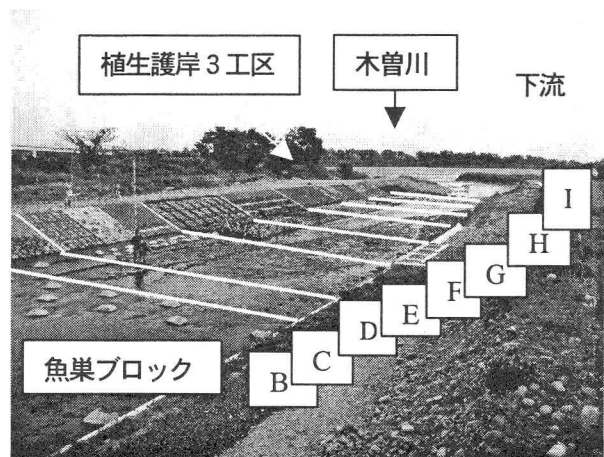


図-1 調査対象区間の状況と横断測量の測線

に実施した。ここで、対照区はカルバートより上流側の植生が繁茂する蛇籠工（瀬）とした。調査手順は、工区前面の水際部を仕切り網（網目：5mm）で取り囲んだ後、漁網などで採捕する操作を数回繰り返した。その後、流速計とスタッフ、光波プリズムを移動しながら、代表点の水平座標を光波アリダードで平板上に記入し、流速・水深・河床材料などの特性量を野帳に記録した。

3. 洪水による河床変動量

図-1は、横断測量の状況と測線を示したものである。魚巣ブロックから下流側に、8測線（区間長：約20m、間隔約10m）を設定して地盤高を測定した。その地形形状を示せば図-2のようである。同図(a)(b)から、魚巣ブロックの下流側100~150mで徐々に侵食されていく様子がうかがえる。この期間（5/9~6/2）では、下流部の流心軸が右岸側に変化し、中央部で侵食、植生護岸群3工区の前面では堆積となっていた。さらに、図(b)(c)では、110~120m区間を境にして上下流で変化が見られる。この期間（6/2~8/7）には7月に河床低下を抑制するための帯工がこの区間に設置されており、この帯工を挟んで上流側で堆積、下流で深掘れが生じている。さらに下流側に設置された床固め工によって、これら3工区の前面は約1m程度の淵が形成された。なお、洪水時の水位や流量は正確に測定されていないが、護岸法面の土壌流出状況などから、5~8月の出水規模は護岸法面の半分（低水位より1.5mの高さ）程度の水位であったと推定される。

一方、東海豪雨（9/12）後に行なった地形測量結果を示せば図-3のようである。カルバートの護床工直下に著しい洗掘が生じ、魚巣ブロックの上流側に堆積していることがわかる。東海豪雨以前は、魚巣ブロック下流で最大洗掘深さ0.94~1.34mであったが、東海豪雨直後では、カルバート直下で最大洗掘深さ4.54m、魚巣ブロッ

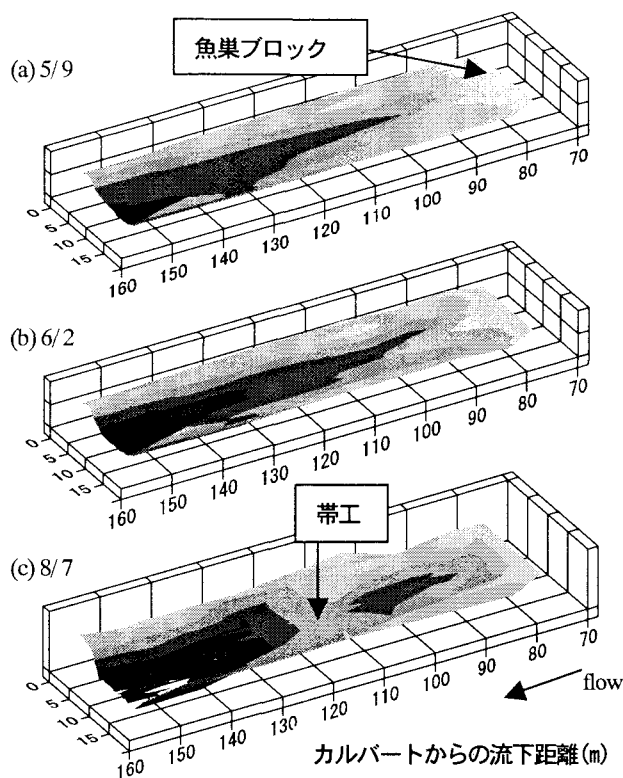


図-2 河床形状の推移（東海豪雨以前）

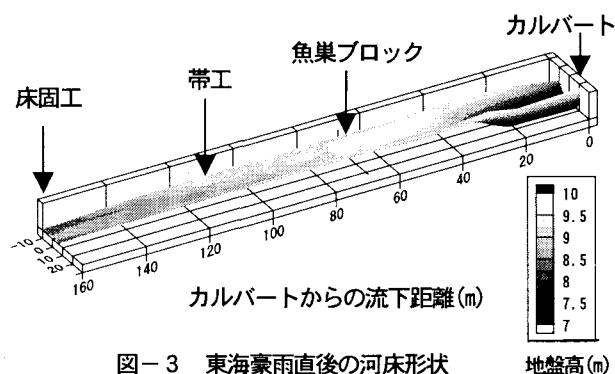


図-3 東海豪雨直後の河床形状

ク天端には46cmの土砂が堆積した。

これらの横断測量（魚巣ブロック下流側の区間、合計4回）によって得られた河床形状を断面ごと（B～I断面）に重ねて、5/9の地形を初期形状としたときの各区間の土砂量変化を示したものが図-4である。なお、各区間の変化は線形補間とした。同図から、5/9～6/2にかけてはわずかながら全断面において侵食、帯工・床固工が設置された8/7から東海豪雨直後の9/18では、全断面において堆積となったことがわかる。すなわち、調査対象としている植生護岸群3工区（H～I区間）の前面では、洪水によって瀬から淵、淵から瀬へと河床形態が大きく変化したことがうかがえる。このように、対象河川では河床砂礫が洪水時に洗掘されて掃流し下流側で堆積するなど、河床変動が大きい。

図-5は名古屋、岐阜、美濃加茂市における2日間（9/11～12）の積算降水量と、美濃加茂市の時間降水量

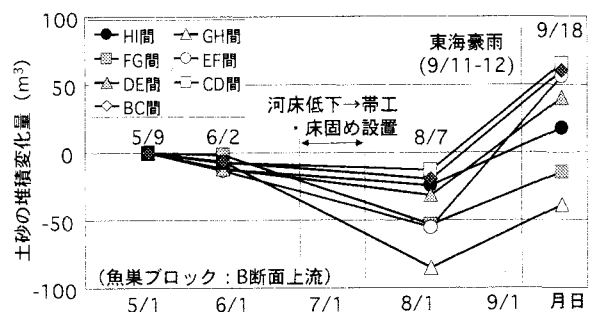


図-4 土砂量の経時変化（B～I断面）

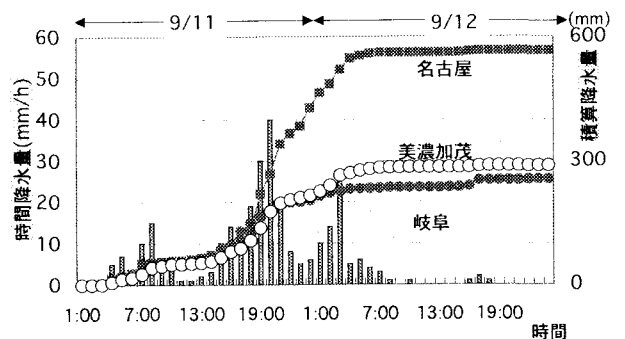


図-5 東海豪雨における降水量の時系列

の経時変化を示したものである。なお、対象河川の主な集水域は、各務原・美濃加茂市である。同図から、名古屋市の積算降水量570mmに比較すれば、半分程度の255～289mmであるが、時間降水量40mm/hを記録している。9/12早朝にはカルバート天端を越流し、木曽川本川の水位が低下しないために、翌日まで湛水化した状態が続いた。この洪水によって、上述した著しい洗掘に加えて各種護岸の被災や床固工の流出などの被害を受けた。

4. 植生護岸における植物の成長過程

(1) 木工・粗朶沈床工区

木工・粗朶沈床工区の護岸法面には柳枝工が設置されている。これらの河川伝統工法は、景観性や生態系保全、屈撓性（地形への順応性）の点で優れている。これは、多孔質性により土砂が堆積して植物の繁茂を促進し、自然素材であるために景観的にも周囲と調和する利点が近年特に見直されている。

柳枝工の護岸天端付近に1m×1mのコドラートを設定し、植生調査を3～9月の7回実施した。8月に行なった調査によれば、侵入定着が確認された植物の種類は41種（確認種19、残り22種は未同定）であった。図-6は、これらの植物によって覆われた植被率（％）と、植栽したヤナギの成長高さの経時変化を示したものである。同図から、5～7月にかけてその変化率が増大し、7月には90％までに達したことがわかる。これらの多くは、土壌に混入または出水時に定着して、種子から発芽したもの

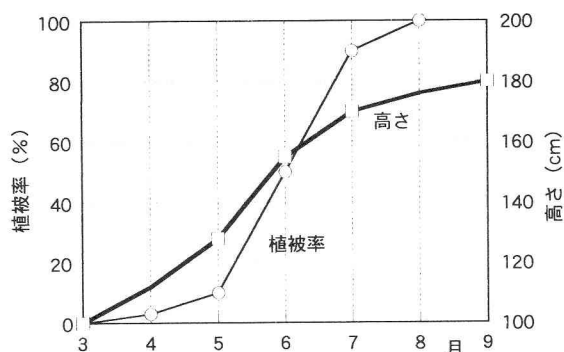


図-6 護岸法面の植被率(%)とヤナギの高さ

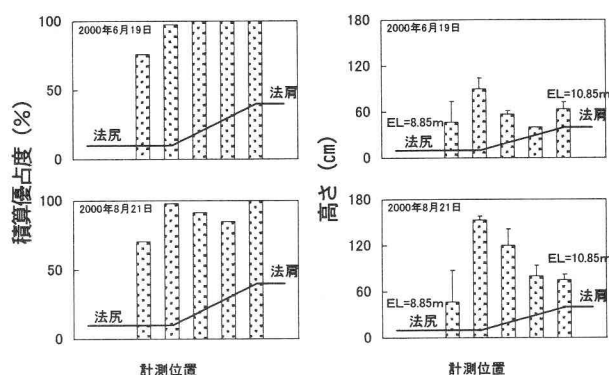


図-7 チャンバーリベットメント上のツルヨシの積算優占度(SDR)と高さ(平均値と標準偏差)

と思われる。また、100cm程度のヤナギの苗木が7月には170cmにも達するほどに成長したことがわかる。一般に、ヤナギは水際部が最も成長がよく、常時浸水している場所では根腐れを起こし、法肩乾燥部では発芽しにくいといわれている。苗木からの定着がすすめば、法面からの土壌流出を防ぎ、ヤナギの樹陰は昆虫類や魚類のカバーとしての機能を増大させるものと期待される。

(2) チャンバーリベットメント工区

チャンバーリベットメントは、ポリプロピレンネットを使用した厚さ20cmのフトン簀状のユニットで、内部にぐり石が充填されており、通常のフトン簀以上に高いフレキシブル性をもつ護岸材料である。内部は40cm間隔の隔壁で仕切られているので、充填石の偏りが少なく、屈撓しても安定した護岸機能を維持できるように考案されたものである。さらに、このチャンバーリベットメントにツルヨシ(*Phragmites japonica*)を植栽したエレメントを護岸法面(斜面長4m×距離10m)、根固工には非植栽のエレメント(幅2m×距離10m)が設置されている。ツルヨシの成長過程を把握するために、出現植物種の被度と高さに関する植生調査を6月と8月の2回行なった。

図-7は、チャンバーリベットメント上におけるツルヨシの積算優占度(SDR)と高さを示したものである。6月と8月に侵入定着が確認された植物の種類は、それぞ

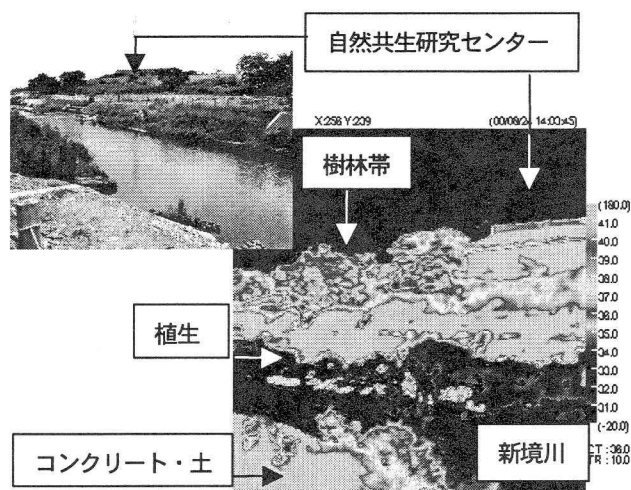


図-8 赤外線カメラによる温度測定結果の一例(14:00)

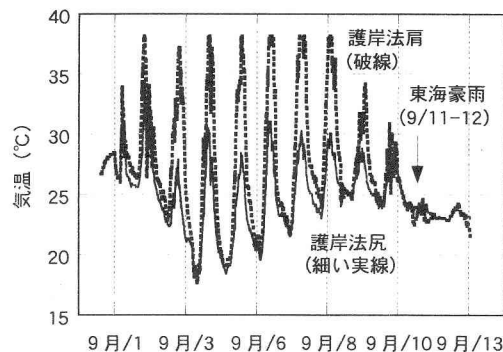


図-9 植生護岸の地表面付近の温度変化

れ36および21種類であった。これらの植物は主に種子から発芽したものと思われるが、導入したツルヨシは予め成育させた苗であったために、同図からも明らかなように、護岸法面の全範囲で積算優占度が最も高い。法肩付近では乾燥が強く、水際部に比べてツルヨシの成長は悪い傾向にあった。チャンバーリベットメントの設置から約5ヶ月後には水際部のツルヨシは高さ150cm程度までに成長した。その後、数回の出水によって多くの植物が流出、あるいは出水後に枯死して、ほぼツルヨシの純群落となった。

ツルヨシ群落は多くの河川中流域で優占種する植物のひとつであり、多くの河川で認められる自然な景観である。これらの結果から、出水によってしばしば冠水し、流水のインパクトにさらされる立地条件では、生態的に適応した植物の導入が植生の復元において重要であることを示唆していると思われる。

(3) 赤外線カメラによる護岸表面の熱環境特性

赤外線カメラによる護岸表面の温度測定結果の一例(午後2時頃)を示せば図-8のようである。同図から、玉石を主体とする護岸では、昼間40℃を超える高温域になるのに対して、植生が繁茂した護岸や水際部では30℃

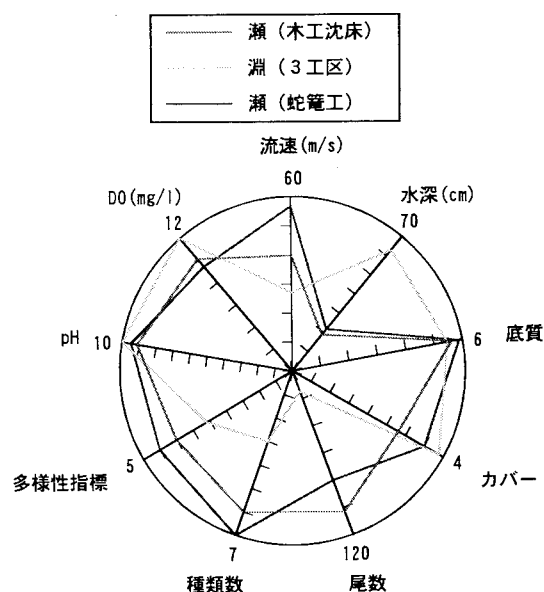


図-10 魚類の多様性と生息場の特性量

以下の低温域となっていることがわかる。このように、護岸の被覆材料の状況や植生の有無などによって熱環境特性が大きく異なることが確認できた。

上述したように、木工・粗朶沈床工区の法面には柳枝工が施されており、その上部（法肩）と下部（法尻）の地面近くに温度計が設置されている。図-9はこの温度変化の一例（9月上旬）を示したものである。同図から、法肩と法尻では最低気温にほとんど差は見られないが、法肩における昼間の温度はデーターロガーの測定範囲を超える38℃と高い。一方、法尻の温度は最大でも30℃程度であり、その差は10℃前後となっている。植生護岸では夏季の植被率は100%に達しているものの成長の程度にばらつきがみられ、根固工付近の法尻では植生密度や成長高も大きく法肩では小さい。このことによって、地面付近に到達する光エネルギーに差異が生じたものと考えられる。このように同じ植生護岸でも場所により温度分布に大きな違いが見られ、これらは昆虫類のビオトープや魚類生息場のカバーとしての役割を通じて生態環境に影響を与えるものと考えられる。

(4) 魚類生息場の特性

対象河川の魚類生物量と生息場の特性を把握するために、代表的な瀬（カルバートよりも上流側の蛇籠工、技魚巣ブロックよりも上流側の木工沈床区）および淵（植生護岸3工区）を選定して調査を行なった。その結果を水質（DO, pH）、生息場の特性量（流速・水深・河床材料・カバー）、魚類採捕量（種類数、個体数、多様性指標）のレーダーチャートとして示したものが図-10である。同図から、水質、河床材料、カバーについては差異があまり見られない。瀬と淵では水理量（水深、流速）が異なり、魚類個体数と種類数に大きな違いが見られる。また、蛇籠工（瀬）の優占魚種がシマヨシノボリ、

木工沈床工区（瀬）ではカワムツ、植生護岸3工区（淵）ではフナであること、魚類の多様性指標は植生護岸工区よりも上流側の木工沈床および蛇籠工の方が高い結果となった。

さらに、3ヶ所ともに大型のナマズ（体長30～50 cm）が採捕された。これは、木工沈床、蛇籠、植生といった生息場を構成する隙間やカバーの重要性を示唆している。対照区である蛇籠工では全体的に流れや河床は比較的単調であるが、水際部にはやや深掘れ部が生じ、岸辺の植生や水草の繁茂も盛んである。また、上流側の木工沈床の前面には、コンクリートブロックが設置されており、植生は少ないが大小様々な隙間を提供している。一方、植生護岸3工区の水際部は植生の繁茂と、ブロック、木工沈床によって生じた隙間が、ナマズなどの大型魚の生息場所として有効であるものと考えられる。

協議会が行なった魚類調査結果（調査日：8/1、タモ網など）によれば、全区間において17種、236個体が採捕されており、ヨシノボリ、オイカワ、タモロコ、コイ、フナの出現率が高い。なお、オオクチバスやカムルチーなどの移入種も確認されている。

5. 東海豪雨における根固工の屈撓性

図-11は、東海豪雨後の木工・粗朶沈床（単床）工区における各沈床の地盤高を測定したものである。木工沈床では、上流側水際部で約1mの沈下が生じている。また、粗朶沈床では、中央の水際部前面で約90cmの沈下量となり凹状の変形となっている。一方、東海豪雨直後のチャンバリーベットメントは流出されることなくツルヨシもほとんどすべてが現存したことが確認されている。図-12は、チャンバリーベットメントの設置直後と東海豪雨直前における地盤高を比較したものである。なお、縦断方向に1 m、横断方向に50cm間隔である。同図から、東海豪雨以前の中小規模の洪水によって、チャンバリーベットメントは河床変動に対して柔軟に屈撓して、護岸としての機能を保ちながら複雑な河岸を形成したことがうかがえる。

今回調査対象とした植生護岸3工区の被害が比較的軽微であった理由の一つに、ほぼ最下流部に位置していたことがあげられる。また、出水後に護岸法面からの土壌流出がほとんどなく、むしろ土砂の堆積が見られたことなどから、出水時にヤナギやツルヨシなどの植生が倒伏して護岸法面の表層を覆い、流速を弱めたことが被害の軽減に結びついたと考えられる。さらに、チャンバリーベットメントは通水性がよく水循環をあまり拘束しないので、出水後の水位低下に伴う護岸背面の残留水圧の影響が少なかったことなども軽減化した要因であると推察される。

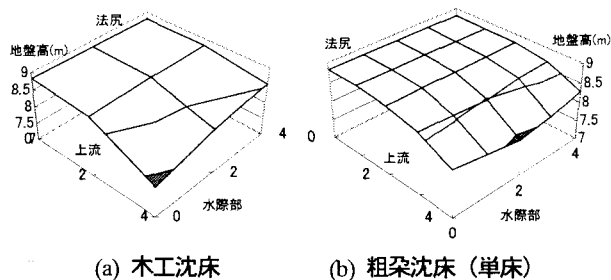


図-11 東海豪雨後の木工・粗朶沈床フレームの地盤高

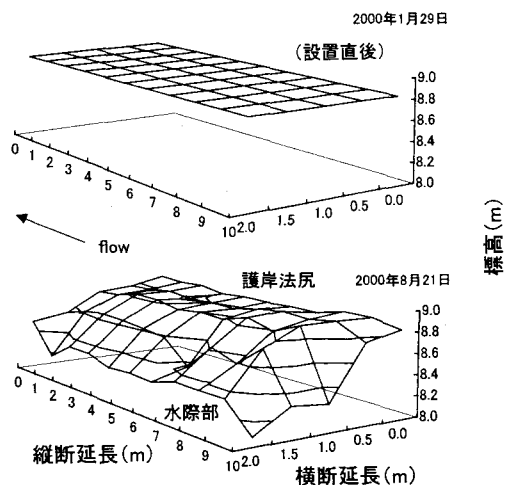


図-12 チャンバリベットメントの地盤高 (東海豪雨前)

6. おわりに

以上、「自然共生工法展示施設 (岐阜県)」において現地調査を実施し、東海豪雨を含めた洪水による河床変動量を明らかにするとともに、洪水による根固工の屈撓状況、植生護岸の被覆状況の推移、魚類の生息量と物理環境の特性量の関係などについて考察した。その結果、

- 1) 東海豪雨では最大洗掘深さ4.5mに達し、河床変動の大きい河川であること、
- 2) 植生護岸の設置後約5ヵ月後に、植生の植被率や優占度は100%近くに達したこと、
- 3) コンクリート、石を主体とする護岸では、日中40℃

を超える高温域となるのに対して、植生の繁茂した護岸法尻や水際部では30℃以下の低温域となること、
4) 瀬・淵を問わず、大型のナマズが採捕され、木工沈床、蛇籠、岸辺の植生といった生息場を構成する隙間やカバーが重要となること、
などが指摘された。

さらに、木工・粗朶沈床などの河川伝統工法やチャンバリベットメントはフレキシブルに河床変動に対して追従し護岸としての機能を果たした。また、植栽された植物 (ヤナギ、ツルヨシ) は植生護岸として機能し、護岸法面の土壌流出を防ぐことなどが明らかにされた。今後、モニタリングを継続し、植生護岸の多機能を評価する予定である。

謝辞：地形測量や魚類、熱環境調査では、松尾逸男元技官、久江隆裕君 (現：東京舗装工業株) をはじめとする研究室諸氏に多大な協力をいただいた。末尾ながら、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河川伝統工法研究会編、河川伝統工法、193p., 1995.
- 2) 木村保夫・鈴木正幸・水沼 薫：植生の導入による河道の安定化と植生および河道の動態に関する研究、自然共生型川づくりシンポジウム講演論文集, pp. 55-60, 2000.
- 3) 財団法人リバーフロント整備センター編、河川と自然環境、理工図書、152p., 2000.
- 4) たとえば、岐阜県自然共生型川づくり研究協議会：第1回魚類共同調査レポート、22p., 2000.
- 5) 久江隆裕：中小河川における河床変動と魚類生息場の特性に関する研究、岐阜工業高等専門学校卒業論文、137p., 2001.
- 6) 和田 清・久江隆裕：自然共生工法展示施設における河床変動と魚類生息場の特性、土木学会中部支部平成12年度研究発表講演概要集、PS-3, pp.19-20, 2001.

(2001. 4. 16 受付)